

宜宾地区土壤养分空间变异及其丰缺状况分析

张浩¹, 彭月月¹, 李斌², 李启权^{1*}, 王昌全¹, 李冰¹, 向金友³, 易蔓³

(1. 四川农业大学资源学院, 成都 611130; 2. 中国烟草总公司四川省公司, 成都 610041; 3. 四川省烟草公司宜宾市公司, 四川 宜宾 644002)

摘要: 为探明宜宾地区主要土壤养分含量状况, 基于野外采集的 676 份土壤样品, 运用经典统计方法、地统计学方法和 GIS 技术分析了该区域 8 种土壤养分指标的空间变异特征及其丰缺状况。结果表明, 宜宾地区土壤有机质、全氮、全钾和缓效钾含量适宜, 碱解氮含量丰富, 而速效钾、全磷和有效磷含量缺乏。各养分指标块金效应在 44.02%~81.93%; 其中有效磷和速效钾的空间自相关性较弱, 主要受随机因素影响。空间分布上, 有机质含量总体呈现东南高、中部和北部低; 全氮和碱解氮含量由西北、东南向中部区域下降; 全磷呈南高北低趋势, 有效磷呈斑块状分布; 缓效钾由中部向西北和东南部逐渐下降; 速效钾表现为西高东低, 全钾与之相反。本研究结果为宜宾地区烤烟平衡施肥及种植规划提供了理论依据。

关键词: 土壤养分; 空间变异; 丰缺评价; 宜宾市

中图分类号: S572.062

文章编号: 1007-5119(2016)04-0030-07

DOI: 10.13496/j.issn.1007-5119.2016.04.006

Spatial Variability and the Status of Abundance or Deficiency of Soil Nutrients in Yibin City

ZHANG Hao¹, PENG Yueyue¹, LI Bin², LI Qiquan^{1*}, WANG Changquan¹, LI Bing¹, XIANG Jinyou³, YI Man³

(1. College of Resources of Sichuan Agricultural University, Chengdu 611130, China; 2. China National Tobacco Company of Sichuan province, Chengdu 610041, China; 3. Yibin Branch of Sichuan Provincial Tobacco Company, Yibin, Sichuan 644002, China)

Abstract: In order to investigate the spatial distribution of main nutrients in tobacco planting soils, 676 soil samples were collected in Yibin City. The GIS technology was used in combination with classical statistics and geostatistics to analyze the spatial variation of 8 soil nutrients. The results indicated that the contents of soil organic matter (SOM), total nitrogen (TN), total potassium (TK), and slowly available potassium (AK), total phosphorus (TP) and available phosphorus (AP) were insufficient. The ratio of nugget to sill was between 44.02% and 81.93% for all the indexes selected. The ratio for AP and AK was substantially higher than that of the others, indicating a weaker spatial autocorrelation and the spatial variation of the two indexes was dominated by random factors. The spatial distribution pattern of SOM showed a trend with higher values in southeast and lower in central and north. The TN and AN contents declined from the northwest and southeast to the central area in this study. The TP content decreased from the south to north while the high AP value areas were mainly scattered plaques in the studied areas. Slowly available potassium showed a decreasing trend from the central to northwest and southeast, while AK had a higher content in west but lower in east, which is in contrast with TK. The results provide a theoretical basis for balanced fertilization and planting planning of tobacco planting areas in Yibin City.

Keywords: soil nutrient; spatial variability; abundance or deficiency assessment; Yibin

土壤养分含量是衡量烟田土壤肥力的重要标志^[1-2], 其丰缺状况不仅直接影响烟叶的产量和品质, 也是确定各区域烤烟生产潜力以及合理制定区域施肥措施的重要依据和基础^[3-5]。

近年来, 随着现代烟草农业的发展和优质烟叶生产中养分管理的需要, 烟区土壤养分丰缺及其空间变异特征受到了广泛关注^[6-7]。如武德传等^[8]开展了黔南山地植烟土壤养分空间变异及分区管理研

基金项目: 中国烟草总公司四川省公司科技项目“基于 3S 技术的四川烟区生态环境要素时空特征提取及应用”(SCYC201402006)

作者简介: 张浩(1992-), 男, 研究生, 主要从事土壤养分时空变异研究。E-mail: zhangh930@163.com。

*通信作者, E-mail: liqq@lreis.ac.cn

收稿日期: 2015-12-22

修回日期: 2016-07-04

究；李强等^[1]对曲靖市植烟土壤养分空间变异、肥力丰缺及适宜性进行了分析评价；张倩等^[9]研究了攀西植烟土壤有机质和全氮空间变异特征；唐杰等^[10]探究了川北植烟土壤有机质和全氮的空间变异及其影响因素。然而，受气候、地形、土壤类型、种植制度和施肥状况等因素的影响，不同植烟区域土壤养分状况存在显著的差异^[5,11-12]。因此，掌握特定烟区土壤养分的丰缺状况，明确其空间变异特征，对于优化烟区植烟施肥方案，合理指导肥料施用，提高肥料利用率，保障烟区土壤的可持续利用和优质烟叶生产具有重要意义。

宜宾市是四川省重要的烤烟生产基地之一。该地区处于川中丘陵-盆周山地过渡带，地形条件复杂，土壤类型多样。目前针对该区域土壤养分空间变异及丰缺评价的研究报道较少^[13-15]。为探明宜宾地区土壤养分含量状况，本研究应用地统计学和GIS技术相结合的方法对其主要土壤养分的空间变异特征及丰缺状况进行分析，以期为该区域烟草种植区划、土壤改良和养分分区管理提供基础信息。

1 材料与方方法

1.1 研究区概况

宜宾市位于四川省南部(27°50′~29°16′N, 103°36′~105°20′E)，面积约13283 km²，辖内10个县区。海拔在236~2009 m，总体呈现西南高、东北低态势，地貌以中低山地和丘陵为主，岭谷相

间(图1a)。区内属亚热带湿润季风气候，年均气温18.1~19.5℃，年降水量1045.3~1427.5 mm，年均无霜期为334~360 d左右，年均日照时数为1100 h。土壤类型主要有紫色土、水稻土、黄壤、石灰土、黄棕壤和新积土6个土类，其中以紫色土(43.58%)、水稻土(24.96%)和黄壤(22.25%)为主，共占宜宾市土壤总面积的90.79%。2013年全市共种植烤烟0.79万hm²^[16]，烟草种植在该区域农业发展中具有重要地位。

1.2 样品采集与分析

根据研究区实际情况，兼顾代表性和随机取样的原则，综合考虑地形、海拔和土壤类型等因素进行样点布设，采用多点混合法，于2011年在全市共采集表层土壤(0~20 cm)样品676份(图1b)，其中植烟区县样点348个；采样时详细记录样点经纬度、海拔及土壤类型等环境信息。土壤样品带回实验室经自然风干后研磨过筛，采用常规方法^[17]测定各样品有机质、全氮、全磷、全钾、碱解氮、有效磷、速效钾和缓效钾含量。

1.3 数据处理与分析方法

采用域值法识别异常值，并用正常最大或最小值替换^[1]。常规统计分析、相关分析、方差分析和Kolmogorov-Smimov(K-S)检验在SPSS 20.0软件中完成。依据《中国植烟土壤及烟草养分综合管理》及相关文献^[18-19]中的植烟土壤养分含量分级评价标准(表1)，对研究区土壤养分含量进行分析评价。

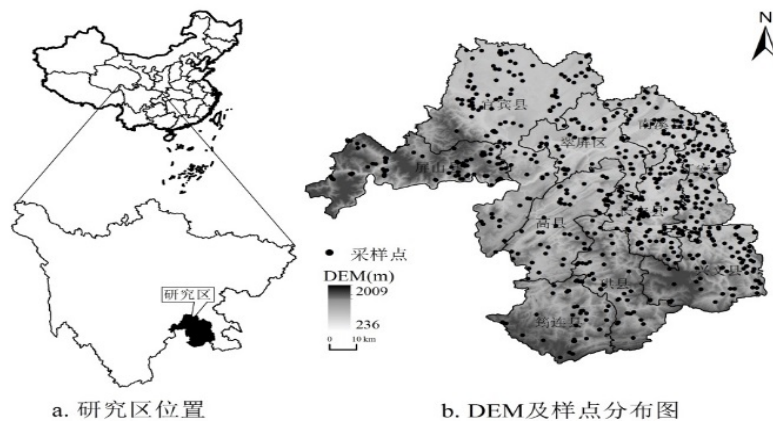


图1 研究区位置、数字高程及土壤采样点分布图

Fig. 1 Maps for the location, DEM and sampling sites of the studied areas

采用地统计学方法对土壤养分空间变异特征进行分析^[12]。首先在软件 GS+7.0 中完成半方差模型拟合,再以最优半方差模型参数在 ArcGIS10.1 软件的地统计模块中进行普通克里格插值,得到研究区土壤养分含量的空间分布图。半方差模型的拟

合参数中,变程 A 可表示空间变量自相关范围;块金效应 $C_0/(C_0+C)$ 反映土壤养分空间自相关程度,当比值为 <25%、25%~75%和>75%时,分别表示该养分指标具有强烈、中等和较弱的空间自相关性^[1]。

表1 植烟土壤养分分级标准

Table 1 Classification for soil nutrients in tobacco fields

等级	有机质/(g·kg ⁻¹)	全氮/(g·kg ⁻¹)	全磷/(g·kg ⁻¹)	全钾/(g·kg ⁻¹)	碱解氮/(mg·kg ⁻¹)	有效磷/(mg·kg ⁻¹)	速效钾/(mg·kg ⁻¹)	缓效钾/(mg·kg ⁻¹)
极低	<10	<0.5	<0.4	<10	<30	<5	<50	<100
较低	10-20	0.5-1	0.4-0.6	10-15	30-60	5-10	50-100	100-200
适宜	20-30	1-1.5	0.6-0.8	15-20	60-120	10-20	100-150	200-300
较高	30-40	1.5-2	0.8-1	20-25	120-150	20-40	150-200	300-400
极高	>40	>2	>1	>25	>150	>40	>200	>400

2 结果

2.1 土壤养分总体特征

统计结果表明(表2),研究区土壤有机质、全氮、全钾、缓效钾和有效磷平均值分别为 22.26 g/kg、1.42 g/kg、18.16 g/kg、262.86 mg/kg 和 11.53 mg/kg,含量总体处于适宜水平;全磷和速效钾平均值分别为 0.56 g/kg 和 81.92 mg/kg,含量处于缺乏水平;而碱解氮含量处于丰富水平,平均值为 133.47 mg/kg。从变异系数来看,有效磷具有极强的变异性,变异

系数高达 143.00%;其余 7 个养分指标的变异系数在 25.43%~53.29%,均属于中等程度的空间变异^[1]。K-S 检验表明,土壤全氮、碱解氮、全钾和缓效钾含量符合正态分布,有机质、全磷、有效磷和速效钾含量符合对数正态分布。

2.2 不同土壤类型养分含量特征

从表3可以看出,研究区石灰土有机质、全氮和碱解氮含量相对最高,紫色土含量最低;除石灰土和紫色土外,各土类中有机质、全氮和碱解氮含

表2 宜宾土壤养分描述性统计特征

Table 2 Descriptive static characteristics of soil nutrients in Yibin city

指标	变幅	平均值±标准差	偏度	峰度	变异系数/%	分布状态
有机质/(g·kg ⁻¹)	4.20~57.00	22.26±10.42	-0.37*	-0.08*	46.81	对数正态
全氮/(g·kg ⁻¹)	0.43~2.73	1.42±0.43	0.43	-0.12	30.43	正态
全磷/(g·kg ⁻¹)	0.15~1.57	0.56±0.27	0.15*	-0.51*	49.32	对数正态
全钾/(g·kg ⁻¹)	4.00~32.40	18.16±4.62	0.02	0.35	25.43	正态
碱解氮/(mg·kg ⁻¹)	18.55~289.00	133.47±48.60	0.44	0.06	36.41	正态
有效磷/(mg·kg ⁻¹)	1.00~92.00	11.53±16.48	0.39*	-0.87*	143.00	对数正态
速效钾/(mg·kg ⁻¹)	17.00~258.00	81.92±39.87	-0.24*	-0.12*	48.70	对数正态
缓效钾/(mg·kg ⁻¹)	33.07~691.20	262.85±139.98	0.74	-0.02	53.25	正态

注:*表示经对数转换后的偏度和峰度。

表3 宜宾市不同土壤类型养分含量特征

Table 3 Characteristics of soil nutrient contents in different soil types of Yibin city

土壤类型	样本数	有机质/(g·kg ⁻¹)	全氮/(g·kg ⁻¹)	全磷/(g·kg ⁻¹)	全钾/(g·kg ⁻¹)	碱解氮/(mg·kg ⁻¹)	有效磷/(mg·kg ⁻¹)	速效钾/(mg·kg ⁻¹)	缓效钾/(mg·kg ⁻¹)
水稻土	361	24.66±10.73 ^{1b}	1.50±0.44b	0.54±0.29bc	18.21±4.40b	138.76±45.96bc	10.90±16.92a	81.91±39.82c	264.72±144.58bc
黄壤	74	26.17±9.33b	1.69±0.41ab	0.69±0.29b	18.46±6.12b	164.38±47.17b	16.23±19.63a	79.65±33.60c	205.26±105.34c
黄棕壤	16	28.36±9.65b	1.42±0.34bc	0.43±0.15c	16.87±4.02b	136.97±25.37bc	8.07±9.12a	105.16±34.14bc	228.77±95.07bc
石灰土	7	35.34±8.51a	1.90±0.32a	0.88±0.16a	23.97±7.94a	197.93±57.00a	12.56±8.13a	124.52±37.53a	304.53±63.90bc
新积土	10	22.52±12.18b	1.53±0.47b	0.59±0.17bc	18.74±4.76b	123.46±38.83bc	15.83±16.58a	94.47±38.72c	324.07±162.34a
紫色土	208	15.79±6.46c	1.17±0.30c	0.53±0.24bc	17.86±4.16b	111.33±44.81c	13.98±17.94a	78.91±41.48c	278.38±141.24bc

注:均值±标准差;同一列具有相同小写字母表示该均值无显著差异($p>0.05$)。

量差异不显著；石灰土全磷、钾素（全钾、速效钾和缓效钾）含量显著高于其他土类；各土壤类型间有效磷含量无显著差异；新积土缓效钾含量显著高于其他土类。总的来看，石灰土各土壤养分指标含量相对较高，紫色土相对缺乏，这与王晖等^[20]的研究结果相似。不同土壤类型间养分含量的差异与其发育程度、母质和土地利用方式等因素有关^[21-23]。

2.3 土壤养分的空间结构特征

半方差分析结果表明（表 4），各土壤养分均符合指数模型，拟合决定系数均在 0.70 以上，能较好地反映研究区各土壤养分指标的空间变异结构特征。从拟合模型参数来看，研究区有效磷和速效钾的块金效应>75%，说明这 2 项指标的空间自相关性较弱，主要受随机因素（施肥、土地利用方式和种植制度等人为活动）影响；其余 6 种土壤养分指标的块金效应在 44.02%~67.23%，具有中等程度的空间自相关性，受结构因素和随机因素共同作用。变

程在 17.50~219.39 km，这表明各养分指标空间自相关范围差异较大；其中，全氮和缓效钾的变程远高于其他养分指标。

2.4 土壤养分空间分布特征

基于半方差分析结果，利用普通克里格法进行插值，得到研究区土壤养分含量的空间分布图（图 2、图 3 和图 4）。根据土壤养分含量分级标准（表 1）得到土壤养分不同等级的面积统计结果（表 5），进而对区内土壤养分含量丰缺及植烟适宜性的空间差异进行评价。

2.4.1 土壤有机质、全氮和碱解氮 研究区土壤有机质总体呈东南高、中部和北部低的趋势（图 2a），分别有 46.71%、40.24%和 13.05%的区域处于适宜、缺乏和丰富水平（表 5）；其中，有机质含量处于缺乏水平的区域主要分布在翠屏区、宜宾县和高县。

全氮和碱解氮空间分布特征相似，呈现出由西北和东南向中部逐渐降低的趋势（图 2b 和图 2c）。

表 4 土壤养分含量的半方差模型及拟合参数
Table 4 Semi-variance model of soil nutrient contents and fitting parameters

指标	模型	块金值(Co)	基台值(Co+C)	块金效应	变程(A)/km	决定校正系数(R ²)
有机质/(g·kg ⁻¹)	指数	0.158	0.235	67.23	22.76	0.87
全氮/(g·kg ⁻¹)	指数	0.114	0.259	44.02	219.39	0.95
全磷/(g·kg ⁻¹)	指数	0.141	0.221	63.80	40.39	0.93
全钾/(g·kg ⁻¹)	指数	12.473	20.794	60.00	17.50	0.80
碱解氮/(mg·kg ⁻¹)	指数	1285.250	2506.900	51.27	58.51	0.93
有效磷/(mg·kg ⁻¹)	指数	1.170	1.517	77.13	11.98	0.70
速效钾/(mg·kg ⁻¹)	指数	0.195	0.238	81.93	37.91	0.77
缓效钾/(mg·kg ⁻¹)	指数	12353.000	24050.100	51.36	135.05	0.98

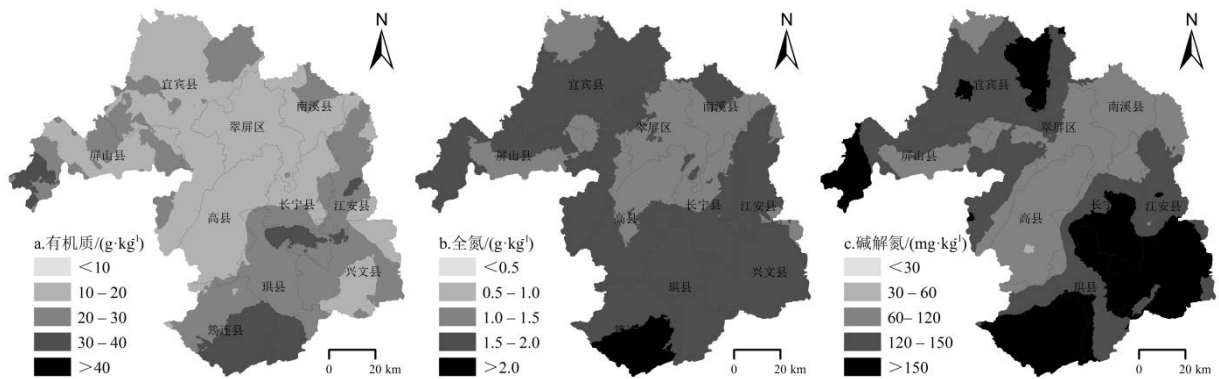


图 2 研究区土壤有机质、全氮和碱解氮含量空间分布图(a-c)

Fig. 2 Maps for the spatial distribution of soil organic matter, total nitrogen and alkali-hydrolyzed nitrogen contents in the studied areas (a-c)

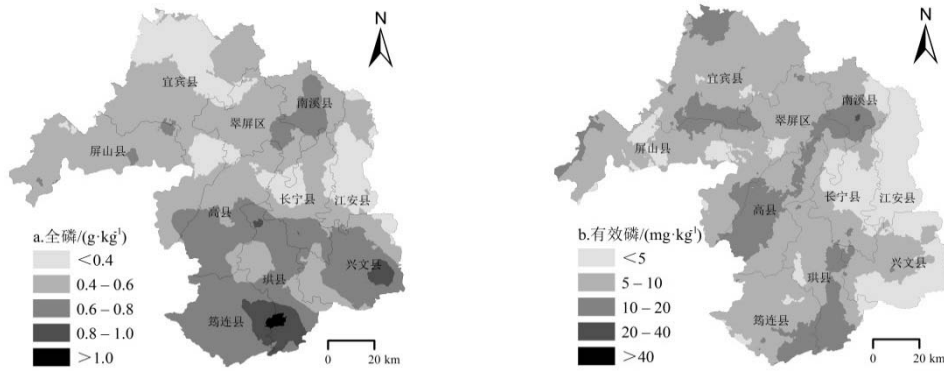


图3 研究区土壤全磷和有效磷含量空间分布图(a-b)

Fig. 3 Maps for the spatial distribution of soil total phosphorus and available phosphorus contents in the studied areas (a-b)

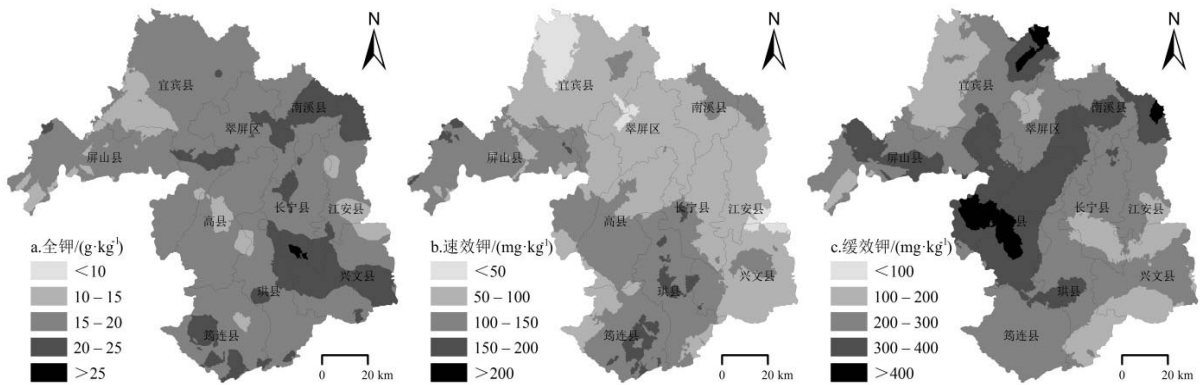


图4 研究区土壤钾素含量空间分布图(a-c)

Fig. 4 Maps for the spatial distribution of soil total potassium, available potassium and slowly available potassium nitrogen contents in the studied areas (a-c)

统计表明(表5),全氮和碱解氮整体处于适宜及以上水平;其中烟区所在的南部各区县多数地区处于丰富和极丰富水平。

2.4.2 土壤全磷和有效磷 土壤全磷在空间分布上表现出北低南高的趋势,有效磷空间分布趋势不明显,呈斑块状分布(图3a和图3b)。磷素含量处于适宜以上水平的区域所占面积较小,各区县均呈现

出不同程度的磷缺乏现象;其中全磷含量缺乏和极缺乏的区域占68.14%,主要分布在宜宾市北部区县,有效磷含量处于缺乏和极缺乏的面积占84.47%,以江安、长宁、兴文和珙县最为突出。

2.4.3 土壤钾素 土壤全钾空间分布表现为东高西低,速效钾含量在西南部较高而在中部及东北部相对较低,缓效钾则呈现出由中部向西北和东南方

表5 不同等级土壤养分面积统计表

Table 5 Statistics of different levels of soil nutrients areas

指标	极缺乏		缺乏		适宜		丰富		极丰富	
	面积/万 hm ²	比例/%	面积/万 hm ²	比例/%	面积/万 hm ²	比例/%	面积/万 hm ²	比例/%	面积/万 hm ²	比例/%
有机质	-	-	53.44	40.24	62.03	46.71	17.33	13.05	-	-
全氮	-	-	-	-	34.04	25.63	93.32	70.27	5.45	4.10
全磷	22.02	16.58	68.48	51.56	37.24	28.05	4.69	3.53	0.37	0.28
全钾	-	-	11.11	8.37	98.66	74.29	22.78	17.15	0.25	0.19
碱解氮	-	-	0.13	0.10	42.30	31.85	50.19	37.79	40.19	30.26
有效磷	32.76	24.67	79.42	59.80	20.61	15.52	0.01	0.01	-	-
速效钾	5.94	4.47	69.59	52.40	53.24	40.08	4.04	3.05	-	-
缓效钾	-	-	24.58	18.50	69.89	52.63	33.59	25.29	4.75	3.58

注:“-”表示该等级无分布。

向逐渐降低的趋势(图4a、图4b和图4c)。全钾和缓效钾处于适宜和丰富水平的区域所占面积较大,处于缺乏水平的面积仅分别占8.37%和18.50%,分别分布于宜宾县、高县和江安县的部分地区与研究区西北及东南部分区域。土壤速效钾在各区县则表现出不同程度的缺乏现象,处于极缺乏和缺乏水平的面积占56.87%,其中屏山、兴文和筠连等主要植烟县速效钾缺乏的区域面积也占有较大比例,反映出这些区域土壤钾素供给不足的问题。

3 讨论

不同区域土壤养分的空间变异特征差异显著,结构因素和随机因素均会对土壤养分产生不同程度的影响^[9-10,16]。宜宾地区土壤有机质、全氮和碱解氮的空间分布与区域地形、土壤类型分布及水热条件有关^[24]。南部高值区土壤类型以石灰土、黄壤和黄棕壤为主,土地利用方式以林草地为主,碳氮源丰富,且该区域海拔较高,气温相对较低,有利于其积累^[25-26]。而中部低值区则以紫色土为主,气温相对较高,土地利用方式主要为耕地,利用程度高,因而有机质、全氮和碱解氮含量较低^[22]。

有效磷和速效钾养分总体处于缺乏水平,且两者块金效应>75%,空间自相关性弱,主要受随机因素(施肥、土地利用方式和种植制度等人为活动)影响,这与王珊等^[13]的研究结果一致。造成这一结果的主要原因,一方面是由于研究区施肥长期“重氮、轻磷、忽钾”,使得该区土壤普遍缺乏有效磷和速效钾养分^[13,16];另一方面,研究区地处川中丘陵-盆周山地过渡带,受气候、地形条件和土壤类型等因素的影响,土壤对磷素的吸附能力较弱,且土壤中钾素易随降水流失^[13-15]。此外,烟草和蔬菜等经济作物对磷、钾的吸收量较大,长期的烟草和蔬菜种植势必导致土壤中有效磷和速效钾含量急剧下降^[13]。

因此,宜宾地区植烟养分管理应注意“增碳、控氮、补磷、提钾”。针对研究区土壤有机质缺乏的低海拔区域,如宜宾、翠屏和高县,可以通过增施有机肥、秸秆还田和种植绿肥等方法提高其含量。

而针对碱解氮极丰富的区域,如兴文、筠连等植烟区县,需控制氮肥用量,避免因供氮过量而影响烟叶品质或造成环境污染。对于缺磷素含量缺乏的区域,则可采用磷肥深层和分层施入的方式来改善土壤供磷能力和提高磷肥利用率。在土壤缺钾的区域,如宜宾、翠屏、江安和兴文县,可在探讨烤烟对钾肥吸收利用机理的基础上,适量增施钾肥,调整施用方式,提高钾肥利用率,以保证烟株生长过程中钾素的供应。

本研究较全面地分析了宜宾地区土壤养分的丰缺状况及空间变异特征,对区域土壤改良、养分管理以及烟草种植区划具有指导意义。对于该区域土壤养分空间变异特征影响因素的系统分析,则有待于进一步研究。

4 结论

宜宾地区土壤有机质、全氮、全钾和缓效钾含量总体处于适宜水平;碱解氮丰富;全磷、有效磷和速效钾缺乏,分别有68.14%、84.47%和56.87%的面积处于缺乏水平。不同土类间养分含量差异明显,石灰土养分含量相对较高,紫色土相对最低。研究区土壤有效磷和速效钾块金效应分别为77.13%和81.93%,其空间自相关性较弱,主要受随机因素影响;而其余土壤养分指标块金效应在44.02%~67.23%,具有中等的空间自相关性,主要由结构因素和随机因素共同作用。空间分布上,土壤有机质呈现东南高西北低、全氮和碱解氮呈现由西北和东南向中部降低的趋势;全磷呈现南高北低的分布特征,而有效磷呈斑块状分布;全钾表现为东高西低,速效钾含量在西南部较高而在中部及东北部相对较低,缓效钾则呈现出由中部向西北和东南逐渐降低的趋势。针对这一结果,植烟过程中应结合各养分的空间分布特征,采取“增碳、控氮、补磷、提钾”的方法进行养分管理,以提高植烟区土壤养分的均衡供应能力。

参考文献

- [1] 李强,周冀衡,张一扬,等.基于地统计学的曲靖植烟土壤主要养分丰缺评价[J].烟草科技,2012(11):69-73.

- [2] 陈建军, 邹勇, 李福君, 等. 粤北始兴烟区植烟土壤养分状况分析[J]. 中国烟草学报, 2012, 18(6): 60-64.
- [3] Ju Xiaotang, Chao F C, Li Chunjian, et al. Yield and Nicotine Content of Flue-Cured Tobacco as Affected by Soil Nitrogen Mineralization[J]. Pedosphere, 2008, 18: 227-235.
- [4] 尚斌, 李德成, 徐宜民, 等. 武陵山烤烟产区土壤有机质与 pH 特征研究[J]. 土壤通报, 2015, 46(3): 590-596.
- [5] 何俊瑜, 陈博, 陈秀兰, 等. 贵州铜仁地区主要烟区植烟土壤养分状况[J]. 土壤, 2012, 44(6): 953-959.
- [6] 徐大兵, 邓建强, 刘冬碧, 等. 整治区植烟土壤养分空间变异及肥力适宜性等级评价[J]. 应用生态学报, 2014, 25(3): 790-796.
- [7] 邹娟, 鲁剑巍, 周先竹, 等. 湖北省主要植烟区土壤肥力状况及分析[J]. 长江流域资源与环境, 2015, 20(3): 504-509.
- [8] 武德传, 罗红香, 宋泽民, 等. 黔南山地植烟土壤主要养分空间变异和管理分区[J]. 应用生态学报, 2014, 25(6): 1701-1707.
- [9] 张倩, 王昌全, 李冰, 等. 攀西植烟土壤有机质和全氮空间变异性研究[J]. 核农学报, 2013, 27(4): 0501-0508.
- [10] 唐杰, 王昌全, 李启权, 等. 川北植烟土壤有机质和全氮空间变异研究[J]. 中国烟草学报, 2014, 20(5): 42-48.
- [11] 毕庆文, 王海明, 陈国华, 等. 鄂西南植烟土壤养分状况分析[J]. 中国烟草科学, 2007, 28(6): 22-26.
- [12] 李卫, 周冀衡, 张一扬, 等. 云南曲靖烟区土壤肥力状况综合评价[J]. 中国烟草学报, 2010, 16(2): 62-65.
- [13] 王珊, 廖桂堂, 熊鸿焰, 等. 川南丘陵区近 30 年来土壤养分时空变化[J]. 水土保持通报, 2015, 35(5): 289-295.
- [14] 赵智. 宜宾市土壤磷素的空间变异特征及影响因素研究[D]. 雅安: 四川农业大学, 2011.
- [15] 黄文忠. 宜宾市土壤钾素的空间变异特征及影响因素研究[D]. 雅安: 四川农业大学, 2010.
- [16] 宜宾市人民政府. 宜宾年鉴 2014[M]. 成都: 电子科技大学出版社, 2015.
- [17] 鲁如坤. 土壤农业化学分析方法[M]. 北京: 中国农业科技出版社, 2000: 108-109.
- [18] 陈江华, 李志宏, 刘建利, 等. 全国主要烟区土壤养分丰缺状况评价[J]. 中国烟草学报, 2004, 11(3): 14-18.
- [19] 庞夙, 陶晓秋, 黄玫, 等. 四川省植烟区土壤肥力评价[J]. 中国烟草科学, 2013, 34(1): 40-44.
- [20] 王晖, 邢小军, 许自成. 攀西烟区紫色土 pH 值与土壤养分的相关分析[J]. 中国土壤与肥料, 2008(6): 19-22.
- [21] 宋想斌, 方向京, 李贵祥, 等. 壤中流对紫色土坡面养分流失影响研究进展[J]. 云南农业大学学报: 自然科学, 2015(2): 311-316.
- [22] Wang H J, Shi X Z, Yu D S, et al. Factors determining soil nutrient distribution in a small-scaled watershed in the purple soil region of Sichuan Province, China[J]. Soil & Tillage Research, 2009, 105: 300-306.
- [23] 尹梅, 洪丽芳, 付利波, 等. 曲靖市坡耕地土壤养分的空间变异性及其与利用方式的关系[J]. 土壤通报, 2013(1): 35-41.
- [24] 李婷, 张世熔, 刘浔, 等. 沱江流域中游土壤有机质的空间变异特点及其影响因素[J]. 土壤学报, 2011, 48(4): 863-868.
- [25] 李卫, 张树锋, 向成高, 等. 云南文山烟区土壤有机质的时空分布特征[J]. 中国烟草科学, 2014, 35(6): 44-47.
- [26] 尚斌, 邹焱, 徐宜民, 等. 贵州中部山区植烟土壤有机质含量与海拔和成土母质之间的关系[J]. 土壤, 2014, 46(3): 446-451.